



COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
COORDENAÇÃO DE TCC
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ESTUDO DO PROCESSO DE AUTOMAÇÃO EM POUSOS DE AERONAVES COMERCIAIS NO AEROPORTO DE ILHÉUS

STUDY OF THE AUTOMATION PROCESS IN COMMERCIAL AIRCRAFT LANDINGS AT ILHÉUS AIRPORT

Antonio Alex Diniz Correa¹, Pablo Fernandes Costa de Marinho²

¹Discente do curso de Engenharia Elétrica da Faculdade Madre Thaís, Ilhéus, Bahia. e-mail: aadcorrea@voegol.com.br.

²Docente do curso de Engenharia Elétrica da Faculdade Madre Thaís, Ilhéus, Bahia. e-mail: pablofernandes.eng@gmail.com.

RESUMO

A evolução tecnológica dos pousos automáticos com a utilização de equipamentos eletrônicos conectados a informações precisas e de alta performance visa minimizar os problemas observados no aeroporto de Ilhéus quanto aos procedimentos de pousos visuais, em que são totalmente dependentes de condições climáticas favoráveis, produzindo uma carga muito pesada para os pilotos, podendo ocasionar maiores danos a aeronave. Sendo assim propôs-se um estudo da importância do processo de automação em pousos de aeronaves comerciais no aeroporto do município de Ilhéus, em prol da busca por segurança e otimização de resultados nos procedimentos, com o uso de um sistema de controle nas aproximações à homologação do aeródromo para realização dos pousos RNR APROUX 0.1 ou 0.3. A carga sobre os pilotos será reduzida, os pousos serão realizados com maior precisão evitando diversos transtornos e perdas aos passageiros e empresas envolvidas nas operações aéreas. A partir de estudos da literatura, por meio de artigos, apostilas técnicas e questionários respondidos pela tripulação, fundamentou-se a importância dos processos de automação no maior controle e eficiência em sistemas de aeronaves.

Palavras-chave: Pousos; ILS; Sistemas de controle; Automação.

ABSTRACT

The technological evolution of automatic landings with the use of electronic equipment connected to precise, high-performance information aims to minimize the problems observed at Ilhéus airport in terms of visual landing procedures, which are totally dependent on favorable weather conditions, producing a very heavy load for the pilots and potentially causing greater damage to the aircraft. We therefore proposed a study of the importance of the automation process in commercial aircraft landings at Ilhéus airport, in the search for safety and optimization of results in the procedures, with the use of a control system in the approaches to the approval of the aerodrome to carry out RNR APROUX 0.1 or 0.3 landings. The burden on pilots will be reduced and landings will be carried out with greater precision, avoiding many problems and losses for passengers and companies involved in air operations. Based on studies of the literature, through articles, technical handouts and questionnaires answered by the crew, the importance of automation processes in greater control and efficiency in aircraft systems was substantiated.

Keywords: Landings; ILS; Control systems; Automation.

1 INTRODUÇÃO

Em virtude da globalização, a necessidade de otimização do tempo, redução das distâncias para chegar de um ponto a outro, a demanda de voos no mundo inteiro tem crescido de forma exponencial, gerando um grande desafio para o setor aéreo atender a necessidade de pousos cada vez mais precisos, proporcionando operações com maior segurança, conforto, agilidade e baixo custo. Para atingir essas metas, processos de automação desenvolvidos na busca de proporcionar aos pilotos melhores condições de executarem os planos de voos com maior precisão, isso se deu a partir da utilização do sistema automático de voo com a utilização do piloto automático, este instrumento é muito utilizado em voos cruzeiro, essencial nas operações especiais, ILS CAT II¹, RVSM², PBN³ e ETOPS⁴.

Para realização dessas operações especiais, um conjunto de itens precisa estar alinhado para atender e cumprir as exigências dos órgãos regulamentadores

¹ Instrument Landing System (ILS) – Sistema de pouso por instrumentos.

² Reduced Vertical Separation Mínima (RVSM) – Separação Vertical Mínima Reduzida.

³ Performance- based Navigation (PBN)– Navegação Baseada em Performance.

⁴ Extended Twin Engine Operation (ETOPS) – Operações Prolongadas em aeronaves de dois motores.

(OACI⁵, FAA⁶, ANAC⁷, DECEA⁸ entre outras). Entre esses itens estão: os aeroportos precisam estar credenciados, as aeronaves homologadas para realizar os procedimentos, a tripulação técnica e manutenção devem estar certificadas para realização dessas operações.

Os procedimentos de pousos utilizam diversos equipamentos para auxiliar os pilotos trazendo indicações para facilitar as aproximações, esses equipamentos podem ser de precisão ou não, podendo proporcionar controles que não sofra com interferências climáticas e situações técnicas adversas.

Aproximações não precisas são realizadas através de indicações de VOR⁹, NDB¹⁰ e DME¹¹, esses não apresentam indicações verticais, disponibilizando apenas orientação lateral da pista, distância da estação. Com esses dados, a tripulação técnica realiza o procedimento de forma visual seguindo a carta de aproximação do aeroporto em decorrência de alguma falha ou condição adversa que possa ocorrer até a atitude mínima de descida, assim os pilotos são instruídos a realizarem um procedimento de arremetida.

As aproximações precisas são realizadas com orientação vertical e lateral, além disso devem ser executadas com auxílio e equipamentos ILS. Esses equipamentos irão fornecer ao piloto uma rampa de aproximação com alinhamento e descida, dividida em várias categorias, sendo a mais completa o pouso ser realizado de forma totalmente automática, mesmo em condições climáticas adversas.

O novo conceito de aproximação de precisão baseado no conceito de performance realiza os procedimentos PBN¹², utilizando os conceitos RNP¹³/RNAV¹⁴/RNAP APCH¹⁵, transmitindo informações via satélite de orientação

⁵ Organização da Aviação Civil Internacional (OACI).

⁶ Federal Aviation administration (FAA) – Estabelece rotas e padrões de aeronavegabilidade.

⁷ Agência de Aviação Civil (ANAC) – Regula e fiscaliza as atividades da aviação civil, infraestrutura aeronáutica e Aeroportuária no Brasil.

⁸ Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

⁹ VHF Omnidirectional Range (VOR) – Transmissor de sinal VHF nas frequências 108.00 até 117,95 Mhz.

¹⁰ Non-direcional Radio Beacon (NDB) – Transmissão radio frequência substituído pelo GPS (GPS – Global Positioning System - sistema global de posicionamento).

¹¹ Distance Measuring Equipamento (DME) – Equipamento de radiofrequência que mede a distância entre a aeronave e a estação de terra.

¹² Performance Based Navigation (PBN) - Navegação Baseada em Performance.

¹³ Tipo de Navegação PBN com alerta de desempenho (RNP).

¹⁴ Sistema ou método de Navegação se movimente em um curso desejado (RNAV).

¹⁵ Performance de Navegação Requerida para Procedimentos de Aproximação (RNP APCH)

vertical e horizontal. Essas informações são fornecidas sem a necessidade de equipamentos instalados no percurso e no entorno do aeroporto para trazerem a aeronave ponto de sinalizações e balizamentos (ANAC, 2016).

O aeroporto de Ilhéus já foi considerado um dos mais perigosos do país, pela pequena extensão da pista, além de grande variação climática, muito vento de calda e ausência de equipamentos de auxílio ao pouso. Em virtude desses itens, ocorrem muitas arremetidas gerando custos muito elevados para empresas aéreas, transtornos para os passageiros, aeroportos lotados, desgastes das aeronaves e acidentes aéreos. A utilização de instrumentos automáticos pode resolver essa demanda e trazer maior segurança e conforto as operações de pousos (AEROFLAP, 2015).

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Em virtude das evoluções constantes nos equipamentos embarcados na aeronave visando proporcionar melhor desempenho, os sistemas de controle permitem a conexão de vários módulos integrados com respostas precisas nas movimentações no espaço aéreo. Esses controles realizam correção das intempéries, como também movimentos precisos e seguros. Para tanto, realizou-se alguns estudos quanto a evolução dos sistemas da aeronave, no que tangencia os dados obtidos por meio de estudos do aeroporto Jorge Amado, localizado no município de Ilhéus.

2.1 Evolução dos sistemas da Aeronave

A evolução foi dividida em quatro períodos: mecânico, eletromecânico, eletro ótico e período dos jatos.

- Mecânico: equipamento tantos com interações e acionamentos, como manômetros, bússola para navegação e em equipamentos giroscópios instrumentos de monitoramento dos motores;
- Eletromecânico: equipamentos de processamento analógico, de sinais elétricos conectados a engrenagem mecânica ou atuadores. Iniciou-se a transmissão de informações unificadas através de instrumentos com diversas

funções e informações, entre elas: indicadores de situação horizontal (HSI), indicadores de direcional de altitude (ADI) e indicadores direcional de (ILS);

- Eletro ótica: equipamentos que mostravam diferentes informações de maneira compacta, depois ficou conhecido como Glass Cockpit. A evolução foi tão intensa que sistemas começaram a atuar de forma automática iniciando o processo de automação nas aeronaves com uso de tubo de raios catódicos os PFD¹⁶ e ND¹⁷ e sistema de alerta da tripulação e indicador do motor.
- Dos jatos: revolução tecnológica caracterizada pela operação por sistemas integrados e automatizados. Teve como base o controle e direcionamento ao avião, automação da informação de controle importantes para a operação das aeronaves e o gerenciamento por meio de sistema supervisor.

2.2 Dados do Aeroporto Jorge Amado

O aeródromo de Ilhéus está passando por um processo de evolução para atender a alta demanda em virtude do desenvolvimento econômico da cidade, obras da Ferrovia de Integração Oeste-Leste (FIOL), o porto Sul e o aumento do turismo na região. Vale ressaltar, algumas considerações sobre o aeroporto de Ilhéus e sua evolução:

- Aeroporto de Ilhéus foi fundado em 19 de maio de 1938 para apoio na segunda guerra, sendo administrado pela Força aérea Brasileira (FAB);
- Em 10 de março de 1981, começou a realizar transportes de passageiros civis com empresas de transporte aéreo;
- Em 2007, teve a redução da pista em 110 metros, redução de pousos e modelos de aeronaves;
- Em 2008, através de estudos realizados foram detectados diversos obstáculos e novas restrições foram implementadas;
- Em 2009, obstáculos foram retirados;
- No dia 3 de novembro de 2018, uma concessão foi cedida para empresa Socicam pelo período de 30 anos com as atribuições administrativas com a

¹⁶ Primary Flight Display (PDF) – Display Primário de Voo.

¹⁷ Display Navigation (ND) – Display de Navegação

proposta de melhorias nas operações, infraestrutura e desenvolvimento tecnológico.

Em um estudo realizado pelo laboratório de transportes e logísticas da Universidade Federal de Santa Catarina (Lab. Tran/UFSC) em parceria com a Secretaria de Aviação Civil da Presidência da República realizada no ano de 2016, foram analisados diversos parâmetros do aeroporto de Ilhéus para avaliação do serviço prestado.

O Aeroporto de Ilhéus (SBIL) possui 700 Km² de aérea, com um terminal de passageiros (TPS) de 3400 m², possui Serviço de Prevenção, Salvamento e Combate de Incêndio (SESCINC) em aeródromos Civis dispõe de três posições para estacionamento de aeronaves comerciais de transporte de passageiros, um pátio auxiliar para aeronaves particulares e executivas. Dispõem ainda de uma Estação Prestadora de serviços de Telecomunicação e de Tráfego Aéreo (EPTA), essa estação realiza o controle e movimentação das aeronaves no aeroporto a partir de uma estação de solo COA (LabTrans, 2016)

O saguão do aeroporto possui uma área de 180,00 m², segundo LabTrans (2016), no período de 2009 a 2014 um crescimento no transporte de passageiros de 9,7 % aa, sendo 96% destes em voos regulares. No transporte de carga doméstica houve um acréscimo de 5,7% em comparação a 2009, totalizando 1,5 toneladas de carga doméstica, em relação a movimentação de aeronaves ouve um acréscimo de 86% em relação a 2009, conforme Figura 1

Figura 1 – Movimentação de Passageiros (2009-2014)



Fonte: LabTrans (2016).

Ainda segundo LabTrans (2016), realizou-se uma projeção de crescimento da demanda de passageiros no aeroporto conforme Figura 2.

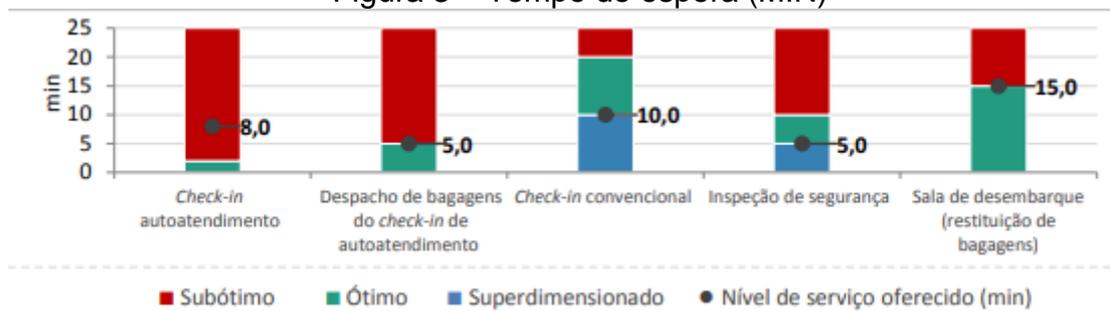
Figura 2 – Projeção de passageiros (2020-2035)



Fonte: LabTrans (2016).

A Figura 3 traz os resultados do tempo de espera com avaliação sobre o nível de serviço oferecido.

Figura 3 – Tempo de espera (MIN)



Fonte: LabTrans (2016).

Observando o tempo de espera, um procedimento de arremetida em uma aeronave comercial ou um cancelamento de um voo gera uma diversidade de perdas, custos e transtornos para:

- As empresas aéreas – no que tange a elevação do custo de combustível, visto que as empresas têm a atribuição de proporcionar aos clientes um lanche em um atraso de 2 horas. Em caso de cancelamento, assume os custos com café da manhã, almoço, janta, transporte e hospedagem;
- Os clientes – muitos perdem compromissos, reuniões, deixam de fechar negócios ou não conseguem chegar em tempo hábil para resolução de assuntos pessoais ou profissionais;
- Os equipamentos – quando utilizados com maior esforço, gerando maior desgaste e podendo gerar danos ou problemas técnicos;

- As concessionárias de aeroportos – com os atrasos e cancelamentos ficam completamente lotados, sem condições de atender a demanda de clientes;
- Para os pilotos – muitos acidentes ou incidentes acontecem por limitações humanas em condições adversas, a exemplo de condições físicas, psicológicas ou situações climáticas.

2.3 Tipos de Aproximações e Pousos

As aproximações e pousos são os momentos mais delicados dos voos, visto que precisam ser executados com extrema atenção. Esses procedimentos podem ser visuais, não precisos e precisos.

A ANAC através Instrução suplementar IS Nº 91-001, revisão H publicada em 17/11/2023 aprovou a navegação baseada em desempenho PBN. Esta resolução normatiza os procedimentos a serem realizados em todo o território nacional (ANAC, 2016).

A ANAC é a autoridade responsável pela aprovação das operações de voo dos prestadores de serviços aéreos brasileiros e, no caso de aviação geral, das aeronaves de matrícula brasileira, incluindo aquelas que possuam requisitos de navegação baseados em desempenho – conceito PBN (RNAV e RNP). Com este intuito, a ANAC deve assegurar que tanto as aeronaves quanto os operadores que pretendam realizar tais operações estejam devidamente capacitados à plena execução de todos os procedimentos relacionados às operações PBN pleiteadas, antes de emitir as respectivas autorizações (ANAC, 2016).

5.2.1 Aproximações não precisas

Nos procedimentos visuais iniciais, os pilotos utilizam como referência para navegação aérea pontos de referências como: vegetações, morros e rios, uma vez que as condições de visibilidade sejam boas e não tenham adversidades meteorológicas na altitude de 1500 pés. Essas aproximações são totalmente dependentes das decisões do piloto para realização dos pousos. (Neves, 2020).

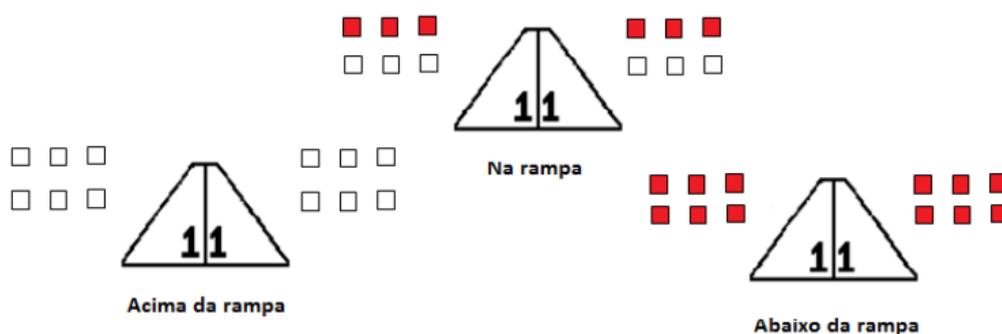
Os procedimentos radiogoniométricos são realizados com auxílio de rádio navegação instalado em solo e nas aeronaves. Entre os meios criados, tem-se NDB,

ADF¹⁸ e VOR, este sendo transmitido por VHF. Esses procedimentos têm um teto mínimo de 881 pés de altura para realização dos procedimentos de IFR (Neves, 2020).

Segundo DECEA (2020), desenvolvido na década de 50, o sistema Indicador de Rampa de aproximação (VASIS) fornece ao piloto através da indicação das luzes o ângulo de inclinação da aeronave, assegurando ao piloto a MEHT (altura mínima do olho do piloto sobre a cabeceira da pista) (Figura 4).

3.1.1 As barras laterais são constituídas de três caixas de luzes VASIS e uma ou duas caixas de luzes AVASIS, dispostas de tal forma que um piloto, efetuando uma aproximação, deverá visualizar: a) acima da rampa, cor branca na primeira e na segunda barras. b) na rampa, cor branca na primeira barra e cor vermelha na segunda. c) abaixo da rampa, cor vermelha na primeira e na segunda barras. (DECEA, 2020).

Figura 4 – VASIS – Indicação Visual na Aproximação Final



Fonte: Ministério da Defesa DECEA AIC N31/20 (2020).

Foi realizado uma conferência pela OACI fundamentando o sistema de comunicação, navegação, vigilância e controle do tráfego aéreo. Esse sistema previa a navegação aérea através de satélites, sendo classificados de acordo a ICAO 9846 (2005), como:

- GNSS (*Global Navigation Satellite System*), realizado a bordo da aeronave;
- GPS – navegação através de informações, foi desenvolvido pelos Estados Unidos;
- IFRB – *International Frequency Registration Board*;

¹⁸ Automatic Direction Finder ADF -

- RAIM (*Receiver Autonomous Integrity Monitoring*).

O GPS é formado por três elementos receptores que em conjunto fornecem medidas de distância e posicionamento em qualquer lugar do globo terrestre a partir de satélites ICAO 9846 (2005).

O receptor GNSS consiste em uma antena e um processador que calcula posição, tempo e, possivelmente, outras informações dependendo da aplicação. As medições de um mínimo de quatro satélites são necessárias para estabelecer a posição tridimensional e o tempo. A precisão depende das medições dos satélites e das posições relativas (geometria) dos satélites utilizados. As constelações de satélites principais existentes, por si só, no entanto, não atendem aos rigorosos requisitos da aviação ICAO 9846 (2005).

Para atender aos requisitos operacionais para várias fases do voo, as principais constelações de satélites exigem aumento na forma de sistema de aumento baseado em aeronaves (ABAS), aumento baseado em satélite sistema (SBAS) e/ou sistema de aumento baseado em terra (GBAS). ABAS confia no processamento de aviônicos ICAO 9846 (2005)

Em alguns países, os pilotos estão autorizados a voar com faixa de rádio omnidirecional VHF (VOR) adequada, VOR/equipamento de medição de distância (DME), balizamento não direcional (NDB) e NDB/DME sem precisão procedimentos de abordagem (NPA) usando orientação GPS. Estas são denominadas abordagens de "sobreposição de GPS" e permitem operadores aéreos terem melhor benefício, precisão e consciência situacional sem a necessidade do provedor de serviços para projetar uma nova abordagem ICAO 9846 (2005)

5.2.2 Aproximações precisas

Segundo o Ministério da Defesa (2013), o ICA - 100-16 estabelece os princípios e conceitos relacionados aos pousos por instrumento ILS, conjunto de dispositivos essenciais para realização de uma aproximação estabilizada. Os componentes ILS fornecem informações precisas do eixo da pista, além disso os pousos por instrumentos ILS são divididos em três categorias:

- ILS CAT I – sistema de pouso por instrumentos que oferece a rampa de Localize¹⁹ e *Glide Slope*²⁰, a altura de 60m (200 pés) acima da cabeceira de pouso, visibilidade inferior 800m ou alcance visual não inferior a 550m;
- ILS CAT II – sistema de pouso que fornece a rampa de Localize e *Glide Slope* 15m (50 pés) acima da cabeceira da pista não inferior a 30 m (100 pés);
- ILS CAT III – sistema de pouso que utiliza outros equipamentos complementares que fornecem orientação da pista e ao longo dela.
- ILS CAT IIIA – são aproximações de precisão por instrumento de pouso com DH inferior a 30m (100 pés), ou sem DH e RVR não inferior a 175m.

2.4 Equipamentos Necessários para a operações ILS

Para realização, os procedimentos ILS e os equipamentos embarcados precisam estar com o funcionamento operacional, os pilotos técnicos habilitados. Os instrumentos de solo precisam estar operacionais e a equipe de solo também habilitada para realização dos atendimentos de trânsito e pernoite das aeronaves.

2.4.1 Componentes Eletrônicos Segundo IA 100-16 necessários para realização dos procedimentos ILS CAT I.

- Localize;
- *Glide Slope*;
- OM²¹;
- MM²²;
- IM²³.

2.4.2 Componente visuais essenciais para realização dos pousos ILS

- ALS²⁴ ou ALSF²⁵;
- Marcações e luzes na cabeceira da pista;

¹⁹ Alinhamento no plano Horizontal da pista dando a indicação de direita e esquerda para a aeronave - Localize

²⁰ Alinhamento no plano vertical da pista dando a indicação de subir ou descer para a aeronave – *Glide Slope*

²¹ Marcador Externo (OM).

²² Marcador Médio (MM).

²³ Marcador Interno (IM).

²⁴ Sistema de Luzes de Aproximação (ALS).

²⁵ Sistema de Luzes de Aproximação com Lampejos Sequencial (ALSF).

- Marcações do eixo de pista;
- Marcações do ponto de toque para aeronaves;
- Marcações do eixo da pista;
- Marcações e luzes de identificação do fim de pista;
- Marcações e luzes laterais de pista;
- Marcações de eixo de pista de táxi e luzes laterais de pista de táxi.

5.3.3 Outros componentes ligados diretamente aos procedimentos ILS CAT I.

- Equipamentos Meteorológicos – equipamentos responsáveis por medir, avaliar a visibilidade, a altura das nuvens (teto), o alcance visual da pista, a temperatura e a pressão.
- Indicadores de Status – equipamentos para avaliar a condição de operacional ou não dos componentes eletrônicos do aeródromo, sendo esse componente no regulamento estabelecido pelo Ministério da Defesa ICA – 100 16 (2013), para realização do procedimento ILS.

2.5 Sistemas de Controle

Segundo relatório da Boeing (2009), 34% dos acidentes aéreos ocorrem nas aproximações e pousos, sendo necessários portanto o uso de sistemas controles visando melhorar os procedimentos proporcionando melhor desempenho, qualidade e segurança, mesmo diante dos diversos intempéries e adversidades enfrentadas no voo, como ventos fortes, tempestades, formação de gelo, baixa visibilidade e limitações humanas.

Para fins de compreensão dos controladores e suas atribuições será apresentado um resumo para entendimento de alguns conceitos básicos segundo Nise (2013):

- Controle com Realimentação – é um sistema que faz uma relação entre as informações de entrada e saída buscam assegurar a correção de erros no funcionamento utilizando meios de controle;
- Controle de Malha Fechada – é um sistema fundamentado na realimentação do controlador visando corrigir erros do sistema;

- Controle de Malha Aberta – sistemas que não realizam controle de saída, precisam estar isentos de distúrbios, sendo utilizados valores de entrada e saída conhecidos, na eminência de distúrbios podem apresentar valores diferentes do desejados e precisam de regulagens periódicas;
- Função de Transferência – sistema que busca relacionar a variável de entrada e saída através de um modelo matemático;
- Diagrama de Blocos – representação gráfica que descreve as funções entre os componentes indicando o fluxo de sinais do sistema real;
- Controlador Automático – compara o valor de saída com o valor desejado realizando uma ação de controle, classificado em proporcionais, integrais e derivativos.

O controle automático tem como objetivo obter sinal de referência que seja ajustado para melhor desempenho. Na aviação, esse processo se destina ao controle de posição para atingir o desempenho estabelecido. A partir disso, os modelos matemáticos, segundo Castrucci (2011), são de extrema importância para fins de atingir os objetivos de desempenho nas teorias de controle.

Segundo Nise (2013), para realização de um projeto que envolve sistema de controle com realimentação, alguns passos precisam ser seguidos, tais quais:

- Passo 1 – Transformar requisitos de um sistema físico:

No caso do controle de aeronaves, precisa considerar as várias variáveis que envolvem a movimentação no espaço aéreo, controle de posição através de satélites, dispositivos de comunicação, informações de vento, sistema inercial, sistemas embarcados e sistemas de posição de azimute de antenas.
- Passo 2 – Desenhar um diagrama de blocos funcional

Nesse passo, organiza-se a interconexões dos dispositivos, as entradas e respostas do sistema com objetivo de manipular os resultados, a cada conexão uma resposta se faz necessário. Nesse processo, avalia-se todo o sistema partindo do físico, organização dos blocos, ajustes do sistema através das respostas dos comandos realizados.

- Passo 3 - Criar um Esquema

Nessa fase, os componentes mecânicos e eletromecânicos precisam estar funcionando de forma precisa e alinhada, estando tudo certo, prepara-se um esquemático para melhor compreensão do funcionamento do sistema, podendo ser realizada análise e simulações computacionais. Assim, trará uma condição muito ampla do funcionamento do sistema, proporcionando um ajuste fino do sistema, estabelecendo ganhos proporcionais ao projeto, ampliação de potência, melhora do tempo de resposta aos impulsos do sistema, ganho “K” em todo sistema e ajustes de saídas. Essa parte do projeto é muito importante, nela é avaliado o desempenho do sistema, avaliando as cargas, forças que atuam no sistema, as intempéries e condições a serem realizadas.

- Passo 4 – Desenvolver um modelo matemático (diagrama de blocos)

Pronto o sistema e realizados todos os ajustes no sistema, por fim, o projetista embasado nas leis físicas que envolve a movimentação das aeronaves, utilizando a transformada de Laplace, funções de transferências e as representações no espaço de estado, produz um modelo matemático para representação do sistema.

- Passo 5 – Reduzir o diagrama de blocos

Redução do sistema a um único bloco com descrição das entradas, equações matemáticas e saídas do sistema.

- Passo 6 – Analisar e projetar

Análise final do projeto com redução do diagrama de bloco e ajustes nos parâmetros do sistema.

Segundo Dorf (2008), para se obter aproximações lineares de um sistema físico é permitido com o uso da transformada de Laplace, efetuando a substituição das equações diferenciais em equações algébricas, essa solução possibilita o encontro das variáveis através da resolução das transformadas algébricas

Os controladores PID derivado das funções e transferência proporcional, integradora e derivada são amplamente difundidas nas aplicações aeronáuticas e aeroespaciais (Castrucci, 2011), conforme Equação 1.

$$m(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{TI} \int_0^t e(t) dt + TD * \frac{de(t)}{d(t)} \right) \quad (1)$$

m(t) = sinal de saída do controlador;

e(t) = sinal de entrada do controlador;

K, TI e TD – parâmetros de ajuste do controlador.

Na cabine de comando (Figura 4), o piloto consegue inserir dados de voo no EFIS²⁶, que são enviados para o FMC²⁷, que realiza interface com o FMS²⁸ e controla direto do piloto automático enviando comandos para os módulos de controle e, conseqüentemente, para os sensores e atuadores nas superfícies de comando. O piloto automático faz interface entre o homem e a máquina transmitindo e recebendo informações de diversos sistemas, componentes, sensores, superfícies de comando, satélites e sinais da estação de terra, gerando um sistema fechado corrigindo eventos adversos apresentados nos procedimentos de aterragens das aeronaves.

Figura 5 – Cabine de comando



Fonte: AIRLINERS.NTE (2014).

²⁶ Eletronics Flight Instrument system (EFIS) – Sistema eletrônico de Instrumentos de Voo.

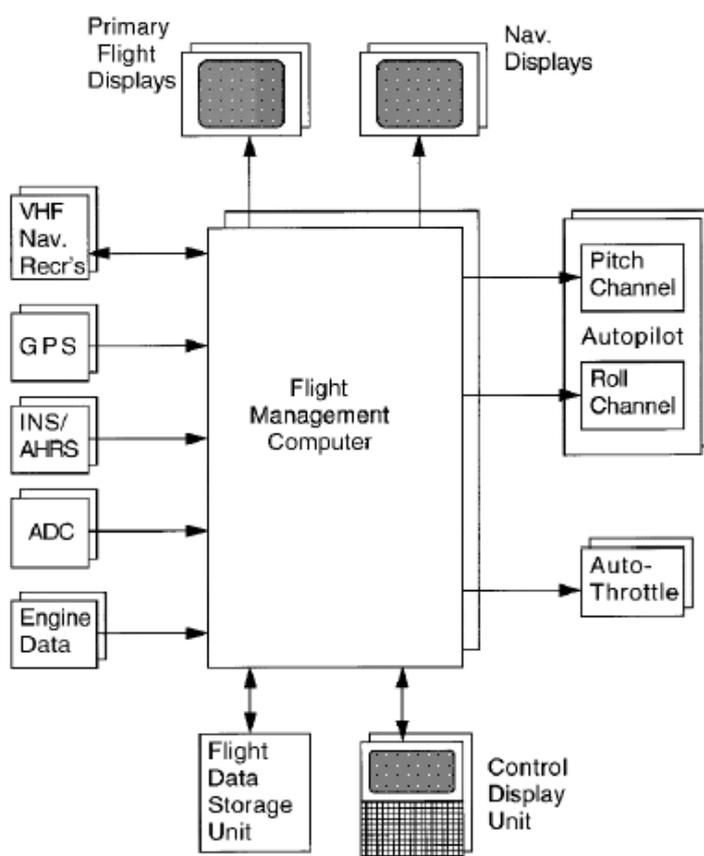
²⁷ Flight Management Computer (FMC) – Computador de Gerenciamento de Voo.

²⁸ Flight Management System (FMS) – Sistema de Gerenciamento de Voo.

Na Figura 5 visualiza-se a manete de potência para a atuação manual (*Autothrust*), porém através do FMC as informações são transferidas para o controle automático da potência dos motores para reduzir a carga dos pilotos, proporcionando maior eficiência, economia e menor desgaste do motor, ligado também a FADEC²⁹, dispositivo que controla a dosagem de combustível.

Segundo Collinson (2011), essa interação pode ser feita diretamente através de acionamentos elétrico, enviado por suítes, botoeiras ou acionamento mecânicos pelo piloto, transmitida por cabos ou sinais analógicos ao FMC, que realiza interface com os demais componentes ligados ao controle automático de voo (Figura 6).

Figura 6 – Componentes ligados ao sistema de piloto automático

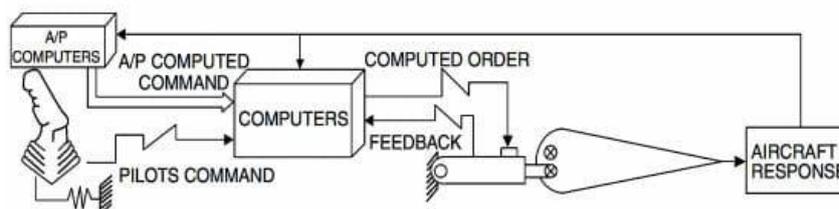


Fonte: Collinson (2011).

²⁹ Full Authority Digital Engine Control (FADEC) – Controle Digital do Motor com Autoridade total
*Artigo Científico apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso
Engenharia Elétrica - Faculdade Madre Thaís, dezembro de 2023.*

Fly By Wire (FBW) (Figura 7) - sistema de transmissão de dados através de sinais eletrônicos que atua em superfícies sem a utilização de cabos ou fios, esses sinais podem ser enviados pelo piloto em manobras ou pelo piloto automático. Esse sistema apresenta muitas vantagens em relação aos controles mecânicos e hidromecânicos que são muito pesados. Utilizam polias, cabos de tensão e tubos hidráulicos, necessitam constantemente de manutenção e apresentam muitas falhas.

Figura 7 – Transmissão de dados Fly By Wire



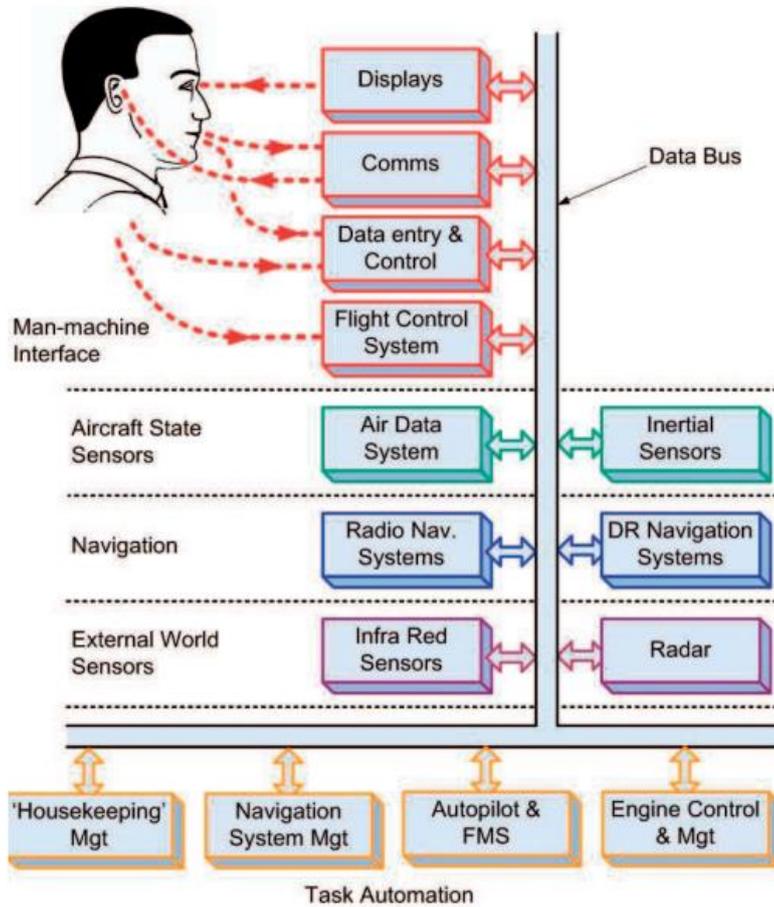
Fonte: AIRLINERS.NTE (2014).

Partindo da Afirmação de Collinson (2011), que todos os equipamentos embarcados essenciais estão conectados no sistema eletrônico e estão divididos em cinco grupos (Figura 8):

- Sistema de Interface Homem Máquina – cabine de comando que proporciona a inserção de dados e comandos pelo piloto. O sistema fornece ao piloto as informações de navegação, parâmetros dos motores, informações do posicionamento das superfícies primárias e sistema de alarmes.
- Sistema de sensores de dados – esses sistemas recebem sinais de todos os sensores dispostos na aeronave e envia informações precisas de ângulo de ataque, giroscópio, temperatura, velocidade, entre outras.
- Sistema de navegação – equipamentos de posicionamento global, navegação inercial, e transmissão de rádio frequência.
- Sistema sensorial de condições externa - trazem para o piloto indicação das condições externas como gelo e radar meteorológicos.
- Sistema automáticos – sistema automatizados que partindo de dados inseridos pelo piloto reduzem a carga de trabalho e produzem melhor desempenho a aeronave, como exemplo temos o Piloto Automático, FMC, FADEC, FMC, entre outros.

*Artigo Científico apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso
Engenharia Elétrica - Faculdade Madre Thaís, dezembro de 2023.*

Figura 8 – Componentes ligados ao sistema de controle automático



Fonte: Collinson (2011).

2.6 Certificados e homologações

Para realizações seguras das operações, diversos regulamentos são elaborados pelos órgãos de fiscalização e controle do espaço aéreo, leis nacionais estabelecidas pela ANAC, DECEA entre outros órgãos e internacionais OACI e ICAO. O advento da Navegação Baseada em Performance tem causado um grande impacto em todos os aspectos da indústria aeronáutica e nos profissionais envolvidos no planejamento, implementação e execução da PBN. Como parte de um esforço contínuo para apontar e corrigir inconsistências resultantes do surgimento do PBN, alterações na identificação de Cartas de Aproximação por Instrumentos (IAC), de RNAV (GNSS) RWY XX para RNP RWY XX estão sendo introduzidas pela OACI, por meio da Circular 353. Tal circular foi publicada com o fim de alinhar a identificação da

*Artigo Científico apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso
Engenharia Elétrica - Faculdade Madre Thaís, dezembro de 2023.*

carta do procedimento de aproximação com a designação da especificação de navegação (NAVSPEC) (Ministério da Defesa AIC N31/20, 2020).

O Ministério da Defesa AIC N31/20 (2020) estabelece procedimentos para aeroportos, empresas aéreas, pilotos, mecânicos e despachantes de voo para realização de operações especiais. Um conjunto de procedimentos são adotados para aplicação na navegação que estabelecem conceitos de espaço aéreo, estas especificações fundamentam a performance do sistema RNAV ou RNP, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Especificação de Pouso PBN.

Especificação de Navegação	Exemplos de requisitos adicionais na caixa de requisitos PBN
RNP APCH RF Requerido/ RF Required	RNP APCH RF Requerido/ RF Required
RNP AR APCH RNP < 0.3	RNP AR APCH RNP < 0.3
Aproximação Perdida RNP < 1/ Missed Approach RNP < 1	Aproximação Perdida RNP < 1/ Missed Approach RNP < 1
A-RNP Segmento inicial e intermediário RNP < 1/	A-RNP Segmento inicial e intermediário RNP < 1/

Fonte: Adaptado de Ministério da Defesa DECEA – AIC N 31/20 (2020).

No anexo A está disponível para visualização as IAC'S homologadas para o aeroporto de Ilhéus com os procedimentos PBN a serem executados pela tripulação técnica. Nessas cartas, estão estabelecidos os parâmetros de aproximação, pouso ou aproximação perdida (arremetidas).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Na presente pesquisa foram abordados diversos pontos embasados em diversas fontes acadêmicas, site de instituições regulamentadoras da aviação e outros aeroportos espalhados pelo Brasil. No trabalho, ainda realizou-se um questionário com os profissionais (Anexo B) do controle e aproximações, profissionais da empresa administradora do aeroporto, equipes de manutenção e equipe técnica de voo,

visando entender as dificuldades enfrentadas nos pousos, danos nos setores em virtude arremetidas e cancelamento de voo no aeroporto de Ilhéus.

Visando compreender os danos gerados e através da automação dos procedimentos alcançar maior eficiência nos pousos e menores danos aos setores envolvidos nas atividades diretas e indiretas do aeroporto. Além disso, realizou-se estudos das aproximações, pousos, equipamentos necessários para realização melhor desempenho, legislações que fundamentam as operações e certificações necessárias.

Esse trabalho servirá de base para estudo e análise da importância da homologação de pousos precisos no aeroporto de Ilhéus proporcionando mais segurança, conforto e otimização do tempo para os clientes e turistas que acessam o aeroporto diariamente.

Os pilotos são os profissionais que apresentam maior carga para realização das aproximações e pousos. Em virtude disso, foi elaborado uma pesquisa para compreender os desafios, obstáculos e distúrbios que dificultam os procedimentos e os meios para reduzir o stress, as situações climáticas adversas, mitigar os problemas e trazer maior segura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista todos os itens abordados nesse estudo realizado, é possível afirmar que para proporcionar maior segurança nas aproximações e pousos no aeroporto de Ilhéus é de extrema necessidade a utilização de automação por meio de equipamentos de pouso automáticos. Além disso, fundamental a homologação pelos órgãos reguladores para o bem comum, tendo em vista que toda comunidade aeroportuária será beneficiada com a realização dos pousos RNAP 0,3 OU A,1.

Os procedimentos de automação e controle de voos são de suma importância nos pousos das aeronaves produzindo maior segurança a todos. Os controles em malha fechada realizam as correções necessárias para as diversas intempéries que são enfrentadas pela tripulação nos pousos.

Sendo muito difícil em uma simulação tentar dimensionar uma situação real de voo de uma aeronave, em virtude das diversas variáveis envolvidas no processo, a

*Artigo Científico apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso
Engenharia Elétrica - Faculdade Madre Thaís, dezembro de 2023.*

imensa variação de situações que uma aeronave pode enfrentar em uma operação real, seria necessário uma análise muito mais completa dos parâmetros para proporcionar uma operação cada vez mais segura no transporte de passageiros.

Os processos de Automação dos pousos estão cada vez mais eficientes e menos dependentes das limitações físicas naturais da natureza humana, ou mesmo dos componentes físicos, tendo em vista que o sistema em malha fechada corrige erros no desenvolvimento das atividades. As aeronaves atuais possuem grande autonomia e respostas a diversas situações adversas nos voos.

O sistema ILS tem comprovadamente uma precisão muito grande, porém em virtude dos diversos equipamentos necessários para o funcionamento, apresentam muita necessidade de ajustes, manutenção preventiva e manutenção corretivas em virtude de mal funcionamento ou danos a algum dos dispositivos ligado ao procedimento ILS. O procedimento RNAP são muito precisos e em virtude do grande avanço da tecnologia do GPS, a imensa quantidade de satélites permitem informações precisas mesmo em áreas antes pouco controladas.

Além disso, vale destacar que os procedimentos visuais são amplamente utilizados em aeroportos de pequena movimentação e com operações de aeronaves de pequeno porte, taxi aéreo e aeroclubes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude dos temas abordados relacionados aos procedimentos de aproximações, pousos, foi possível compreender a importância da automação dos procedimentos no aeroporto de Ilhéus, homologando o mesmo para procedimentos mais seguros. A utilização de equipamentos mais eficientes se faz necessária para melhorias no desempenho, sendo necessário a homologação junto aos órgãos reguladores da aviação, seguindo legislações que fundamentam as operações e certificações necessárias.

Os sistemas ILS são muito eficientes, porém tem um custo muito alto de implementação e manutenção, por outro lado os procedimentos RNAP aprox. produz efeitos satisfatórios com um baixo custo de implementação. Em virtude da utilização

de poucos equipamentos, a manutenção preventiva é facilmente realizada com os procedimentos RNAP aprox. zero 1,1 o 0,3 nas aproximações do aeroporto de Ilhéus.

A homologação desses procedimentos trará diversos benefícios entre eles: maior controle nas operações realizadas, a carga para os pilotos será reduzida nos procedimentos de pouso, as concessionárias poderão aumentar o número de operações no aeroporto com segurança., os clientes terão maior conforto e segurança, terá menos transtornos no aeroporto. Além disso, as empresas terão um maior retorno com maior lucratividade em virtude dos pousos serem realizados de forma precisa, com grande performance e eficiência, minimizando remetidas ou cancelamento dos voos.

Todos esses benefícios trarão para o município de Ilhéus um grande desenvolvimento, gerando um crescimento operacional do aeroporto, além de diversas oportunidades de empregos diretos e indiretos.

REFERÊNCIAS

AEROFLAP. **Os 55 aeroportos mais perigosos do Brasil - Ilhéus - Por Igor Danin.** 2015. Disponível em: <<https://www.aeroflap.com.br/os-5-aeroportos-mais-perigosos-do-brasil-por-igor-danin-2/>>. Acesso em: 23. ago. de 2023.

AIRLINERS.NET. Airbus A350-941 – Airbus (Qatar Airways). <<http://www.airliners.net/photo/Airbus-Qatar-Airways/Airbus-A350-941/2474310?qsp=eJwtjTEOwkAMBL8SuaYARVCkgw9AwQeMbcEpgTvZjuAU5e%2BYE91odrW7AOWXy8evtQgMYIJKD9hAQcWnwbDAKPDdiYMBk95m67DfbzvKNJbkUbWsfqoRM7ociaS48N%2BflUV/kRi11Xu87AJEL42hP4TnZGXCtiGOaYJ1/QLnajNH>>. Acesso em: 17 out. de 2023.

ANAC. Instrumentação Suplementar - IS, n.º 21-013, Revisão B. 2016. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-21-013/@@display-file/arquivo_norma/IS21-013B.pdf>. Acesso em: 23. ago. de 2023.

BOEING. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. Worldwide Operations 1959-2009. Disponível em: <http://www.boeing.com/news/techissues/>. Acesso em: 17. out. de 2023.

CASTRUCCI, P. de L. **Controle Automático.** 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

*Artigo Científico apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso
Engenharia Elétrica - Faculdade Madre Thaís, dezembro de 2023.*

COLLINSON, R. P. G. **Introduction to Avionics Systems**. Third Edition. Springer. 2011.

DORF, R. C. e Bishop, R. H. (2008). **Modern Control Systems**. John Wiley and Sons Ltd, 8th edition.

ICAO Doc 9849 Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual. 1st ed., Montreal, Quebec, 2005 5 Silva, F. ZoomAzores Project, Available: Disponível em: <[https://www.icao.int/Meetings/PBN-](https://www.icao.int/Meetings/PBN-Symposium/Documents/9849_cons_en[1].pdf)

[Symposium/Documents/9849_cons_en\[1\].pdf](https://www.icao.int/Meetings/PBN-Symposium/Documents/9849_cons_en[1].pdf)> Acesso em: 23. ago. de 2023.

MINISTÉRIO DA DEFESA DECEA. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. ICA 100-12: Regras do Ar. 2016. Disponível em: <<https://aisweb.decea.mil.br/?i=aerodromos&codigo=SBIL>>. Acesso em: 17 ago. 2023.

FAA TEST. Visual Approach Slope Indicator (VASI). Disponível em: <http://www.faatest.com/books/FLT/Chapter7/VisualApproachSlopeIndicator.htm>.

Acesso em: 17 ago. 2020

LABTRANS. **Pesquisas e estudos para apoio técnico à secretaria de aviação civil da presidência da república (sac/pr) no planejamento do setor aeroportuário brasileiro - Aeroporto de Ilhéus**. Universidade Federal de Santa Catarina. Secretaria de Aviação Civil da Presidência da República, SAC/PR. Florianópolis, 2016. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/centrais-de-conteudo/relatorio-de-gestao-sbil-ilheus-20160617-vrs1-0-pdf>> . Acesso em: 17. out. de 2023.

MINISTÉRIO DA DEFESA, DECEA – AIC N 31/20. **Nova Identificação de Carta de Aproximação por Instrumentos (IAC) PBN**. Comando da Aeronáutica. Departamento do Controle do Espaço Aéreo. 2020. Disponível em: <https://static.decea.mil.br/publicacoes/files/2020/1647266538-aic-n31-20-nova-identificacao-de-carta-de-aproximacao-por-instrumentos-iac-pbn-13aug20.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=pNf2JQbOhtSrsEzMW9aNRYAHfqzX2fnd%2F20231201%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20231201T000532Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=900&X-Amz-

Signature=196186f171afe62b24e7be8b6c0a367c41c3bccf66d66bbe0d56b3d1deffe001>. Acesso em: 17. out. de 2023.

MINISTÉRIO DA DEFESA, DECEA. **Sistema VASIS**. Comando da Aeronáutica, Tráfego Aéreo 2013. Disponível em:<87ad2313-0c0f-491e-82886fbf5af27bcb.pdf (decea.mil.br) Acesso em: 17. out. de 2023.

MINISTÉRIO DA DEFESA, DECEA. **Sistema de Pouso por Instrumentos (ILS) – ICA 100-16**. Comando da Aeronáutica, Tráfego Aéreo. Disponível em:< ICA-100-16 (decea.mil.br)2013. Acesso em: 17. out. de 2023.

NEVES, G. C. **Procedimentos de aproximação e o conceito de aproximação estabilizadas**. Monografia de Curso de Graduação em Ciências Aeronáuticas, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça – SC. 2020. Disponível em:< https://repositorio-api.animaeducacao.com.br/server/api/core/bitstreams/631b77d7-43f6-4aa6-8ee3-60d6580f90f8/content> Acesso em: 23. ago. de 2023.

NISE, Norman S. Engenharia de sistemas de controle / Norman S. Nise; tradução e revisão técnica Jackson Paul Matsuura. - 6. ed. - [Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2013.

AGRADECIMENTOS

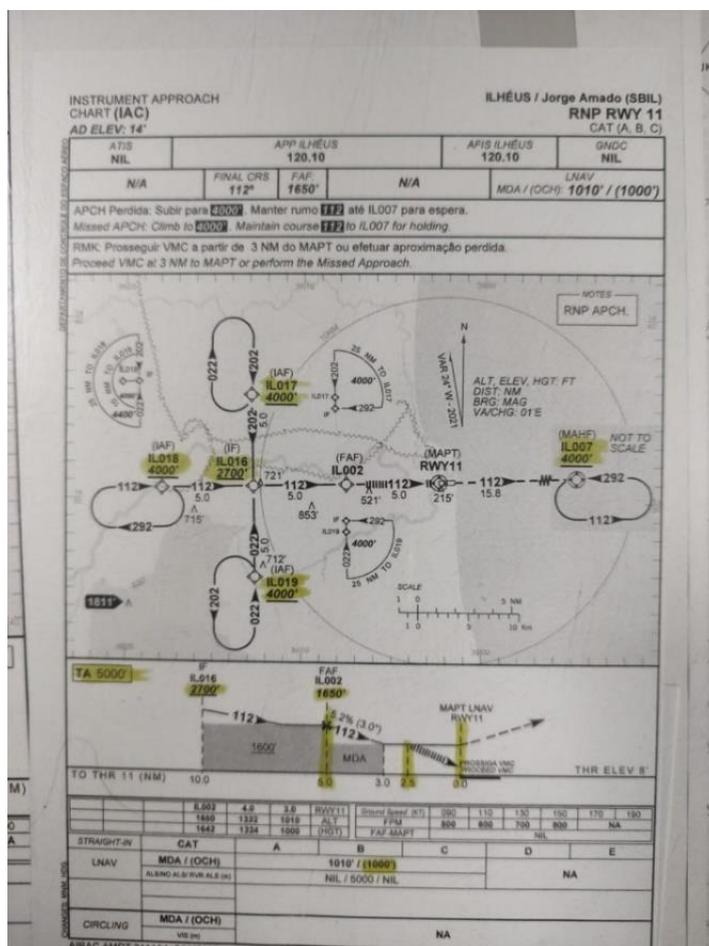
Primeiramente a Deus por estar a cada momento me dando força nessa jornada, ao professor Pablo Fernandes, pela paciência de me aturar nas mais diversas pesquisas, noites perdidas, ajustes e direcionamentos necessários para conclusão dessa jornada, meus filhos e minha esposa que me deram incentivo e amor para não desistir diante dos constantes desafios enfrentados.

ANEXO A

Cartas de aproximação do Aeródromo de Ilhéus SBIL

Carta de aproximação com procedimentos para pouso na cabeceira 11 (Figura 9), descreve passo a passo os procedimentos de aproximação, nível de voo, ponto de espera MDA e procedimento de arremetida a ser executado pelo piloto.

Figura 9 - Aproximação da Cabeceira 11

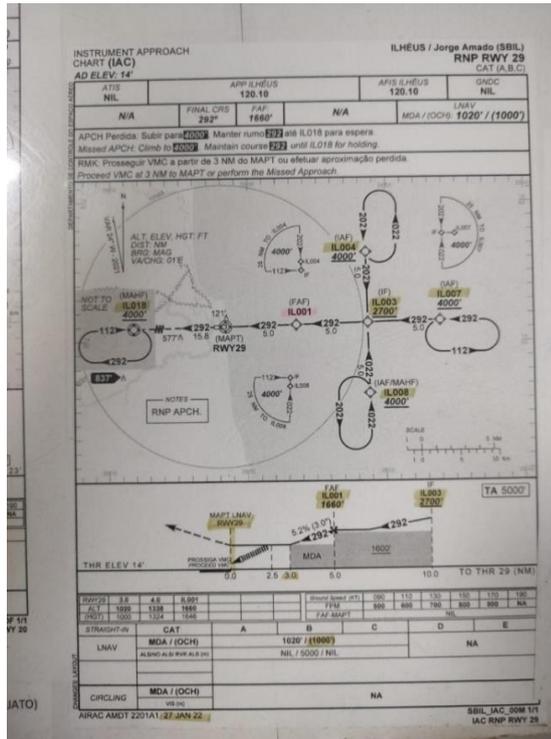


Fonte: DECEA sbil_rnp-rwy-11_iac_20211104 INSTRUMENT APPROACH

Carta de aproximação com procedimentos para pouso na cabeceira 29 (Figura 10), descreve passo a passo os procedimentos de aproximação, nível de voo, ponto de espera MDA e procedimento de arremetida a ser executado pelo piloto.

Artigo Científico apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Elétrica - Faculdade Madre Thaís, dezembro de 2023.

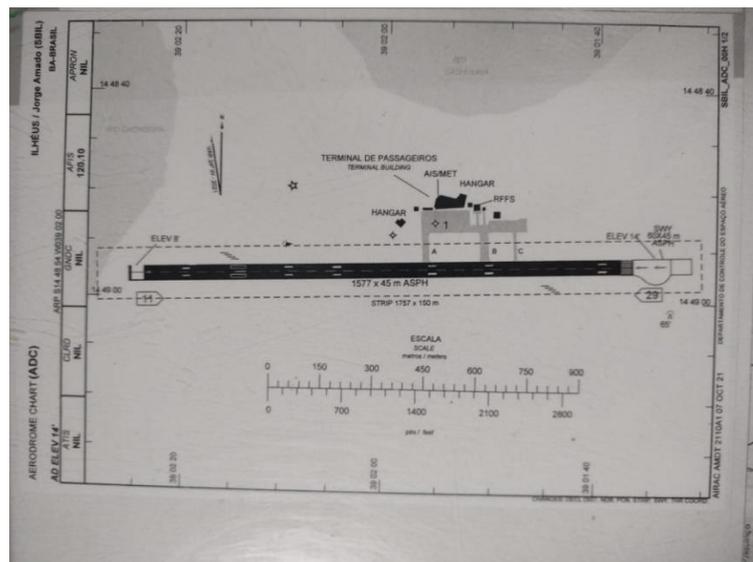
Figura 10 - Aproximação da Cabeceira 29



Fonte: DECEA sbil_rnp-rwy-29_iac_20220127 INSTRUMENT APPROACH 29

Aeródromo de Ilhéus (ADC) (Figura 11) Apresenta os dados físicos do aeroporto com dimensões da pista, terminal de passageiros, hangar e EPTA.

Figura 11 – Aeródromo de Ilhéus - SBIL



Fonte: DECEA sbil_adc-sbil_adc_20211007 AERODROME CHART.

Artigo Científico apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Elétrica - Faculdade Madre Thaís, dezembro de 2023.

ANEXO B

Foi realizada uma pesquisa com os pilotos sobre os procedimentos de aproximação no aeroporto de Ilhéus, para fins de melhor análise. Questionário de base para uma pesquisa de Trabalho de Conclusão de Curso. Este questionário servirá de base para uma pesquisa de Trabalho de Conclusão de Curso Universitário do curso Engenharia Elétrica.

Seu único objetivo é medir a satisfação dos pilotos que operam em SBIL em condições IMC utilizando as cartas IAC RNP 11 e IAC RNP 29 disponíveis para as pistas 11 e 29, com teto de 1000 pés e visibilidade de 5000 metros.

1. Qual segmento da aviação você pertence?

Aviação geral

Aviação executiva

Aviação linha aérea regular

Taxi aéreo

Aviação militar

Aviação desportiva

Instrução de voo

Outro:

2. Você já operou em SBIL?

Sim

Não

3. Você já operou em Ilhéus em condições IMC (1000' e 5000 metros de visibilidade)?

Sim

Não

4. Você acredita que o procedimento IAC RNP 11/IAC RNP 29 atual satisfaz as necessidades da sua cia/empresa quando SBIL opera IMC?

Sim

Não

5. Já precisou alternar de SBIL devido a condições climáticas?

Sim

Não

6. Caso houvesse um procedimento de aproximação RNP-AR 0.3 ou 0.1 sua aeronave/Cia conseguiria realizá-lo?

Sim

Não

7. Qual o impacto financeiro que o mau tempo pode ocasionar na sua operação, caso não consiga pousar/decolar com os mínimos meteorológicos atuais do procedimento IAC RNP 11/IAC RNP 29?

Nenhum

Pequeno

Médio

Grande

8. Como você classifica as operações noturnas condições IMC nas pistas 11 e 29 com o procedimento IAC RNP 11/IAC RNP 29 atual?

Indiferente

Normais

Requerem atenção acima da média

Perigosas

9. SBIL operando em condição VMC você opta por voo automático dentro de um procedimento ou prefere cancelar e executar circuito de tráfego em voo manual?

Piloto automático

Voo manual

10. Você acredita que um procedimento de precisão é melhor a aeronave ser conduzida pelo piloto automático ou em voo manual até os mínimos?

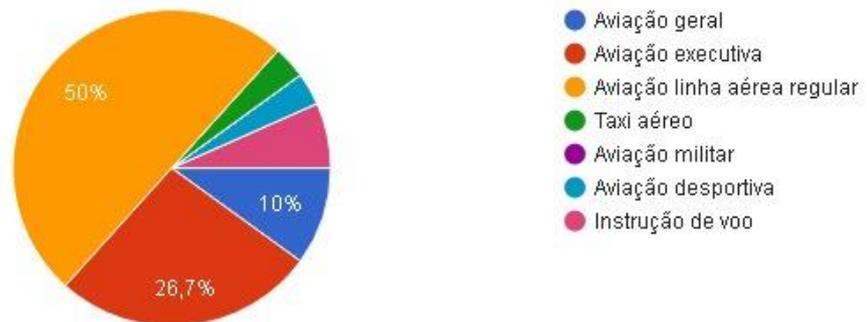
Piloto automático

Voo manual

Resultado das respostas dos participantes

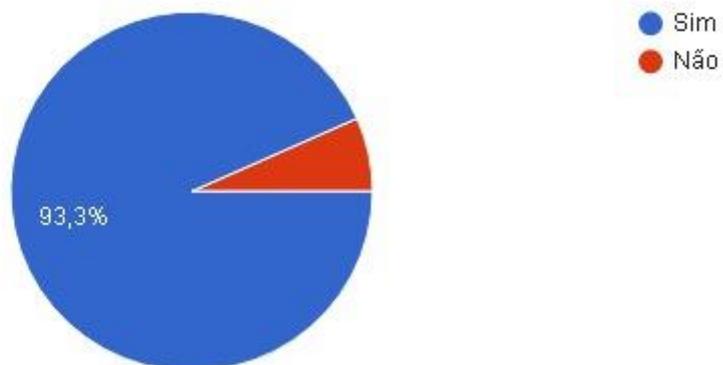
1. Qual segmento da aviação você pertence?

30 respostas



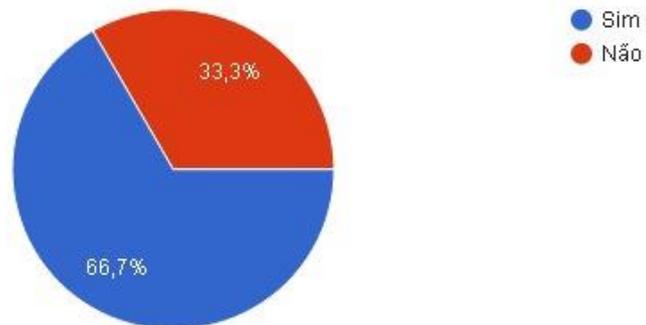
2. Você já operou em SBIL?

30 respostas



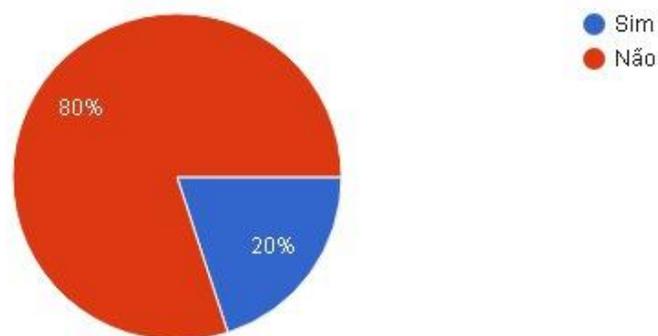
3. Você já operou em Ilhéus em condições IMC(1000' e 5000 metros de visibilidade)?

30 respostas



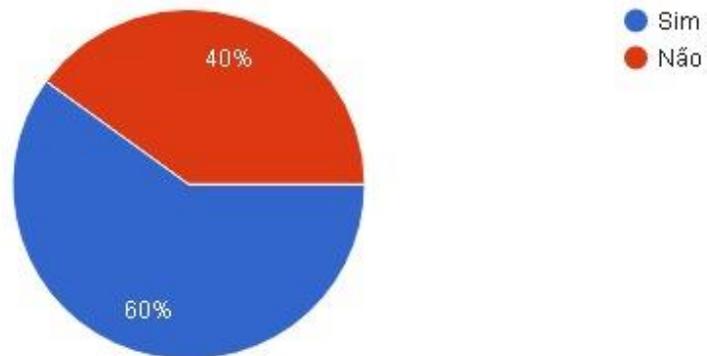
4. Você acredita que o procedimento IAC RNP 11/IAC RNP 29 atual satisfaz as necessidades da sua cia/empresa quando SBIL opera IMC?

30 respostas



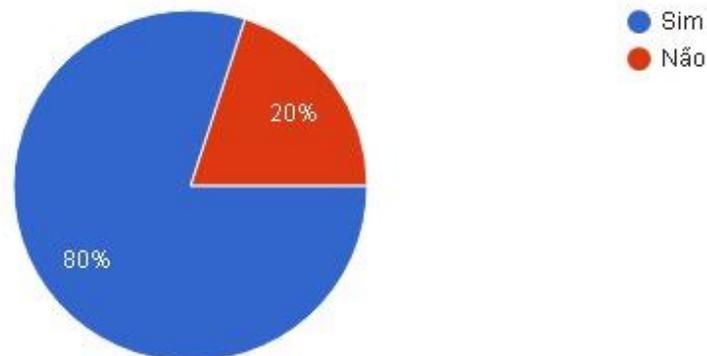
5. Já precisou alternar de SBIL devido a condições climáticas?

30 respostas



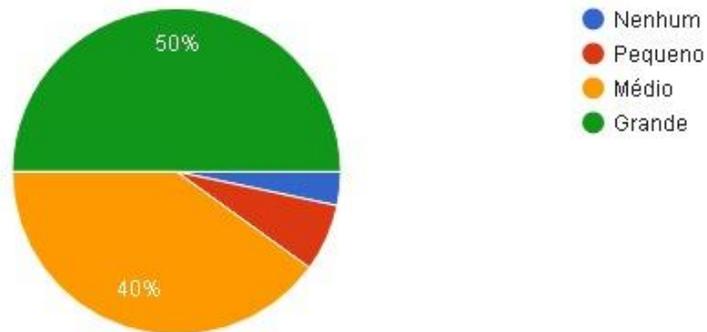
6. Caso houvesse um procedimento de aproximação RNP-AR 0.3 ou 0.1 sua aeronave/cia conseguiria realiza-lo?

30 respostas



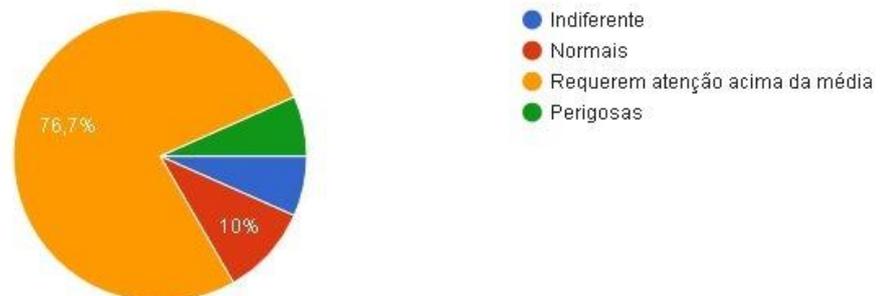
7. Qual o impacto financeiro que o mau tempo pode ocasionar na sua operação, caso não consiga pousar/decolar com os mínimos meteorológicos atuais do procedimento IAC RNP 11/IAC RNP 29 ?

30 respostas



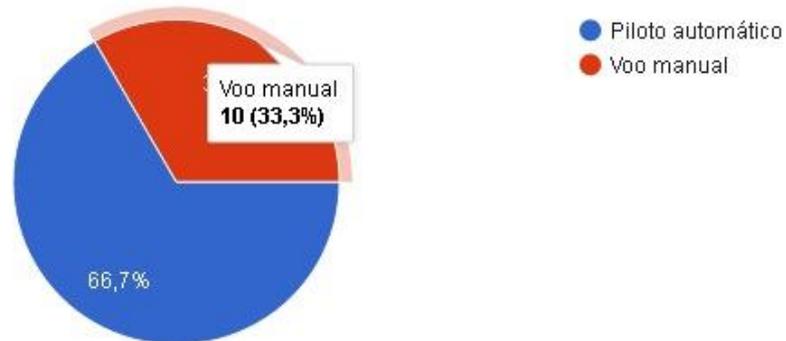
8. Como você classifica as operações noturnas condições IMC nas pistas 11 e 29 com o procedimento IAC RNP 11/IAC RNP 29 atual?

30 respostas



9. SBIL operando em condição VMC você opta por voo automático dentro de um procedimento ou prefere cancelar e executar circuito de tráfego em voo manual?

30 respostas



10. Você acredita que num procedimento de precisão é melhor a aeronave ser conduzida pelo piloto automático ou em voo manual até os mínimos?

30 respostas

